



УДК 621.59(075.8)

**В.М. Бродянский**

Московский энергетический институт (Технический университет), ул. Красноказарменная, 14, г. Москва, РФ, 111250

**А.Ю. Алексеев**

«Linde AG», Dr.Karl von Linde-Strasse, 8-14, Hoellriegelskreuth, Germany, 82049

e-mail: Alexander.Alekseev@Linde-LE.com

**КАПИЦИНСКИЙ ПЕРЕВОРОТ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ КРИОГЕННЫХ ЦИКЛОВ**

*Криогенные воздухоразделительные установки для производства кислорода, азота, аргона и др. газов — наиболее востребованные в настоящее время технические системы. Освоение технологий воздухоразделения началось с работ К. Линде. Дальнейшие улучшения в циклы, схемы и конструкции установок были сделаны Ж. Клодом и П. Гейландтом. Большой вклад в создание принципиально новых воздухоразделительных установок был внесён П. Капицей в 1936-46 гг. Предложенный им цикл низкого давления и реактивный турбодетандер дают возможность создавать крупнотоннажные установки на основе только машин динамического принципа действия. Указанные циклы сравниваются по значениям собственных и технических потерь от необратимости. Показано, что в цикле П. Капицы суммарные потери за счёт ряда усовершенствований могут быть ниже, чем в циклах среднего и высокого давлений. Этот вывод подтверждается высокой эффективностью современных установок, реализующих цикл низкого давления П. Капицы.*

**Ключевые слова:** Воздух. Криогеника. Давление. Разделение воздуха. Детандер. Реактивный турбодетандер. Термодинамические потери. Смеси газов.

**V.M. Brodjansky, A.Yu. Alexeev****KAPITSA REVOLUTION IN REPRESENTATION ABOUT THERMODYNAMIC EFFICIENCY OF AIR CRYOGENIC CYCLES**

*The cryogenic air separation plants for manufacture of oxygen, nitrogen, argon and others gases are the technical systems most claimed now. The development of air separation technologies began from works of K. Linde. The further improvements in cycles, circuits and designs of plants have been made by G. Claude and P. Gejlandt. The big contribution to creation of fundamentally new air separation plants has been brought by P. Kapitsa in 1936-46. The offered by him cycle of low pressure and jet turboexpander enables to create the tonnage plants on basis of only machines of dynamic principle of action. The specified cycles are compared on values of own and technical losses from irreversibility. It is shown that in P.Kapitsa's cycle the total losses due to lines of improvements can be lower than in cycles of average and high pressure. This conclusion proves by high efficiency of the modern plants realizing a cycle of low pressure of P. Kapitsa.*

**Keywords:** Air. Cryogenics. Pressure. Air separation. Expander. Jet turboexpander. Thermo-dynamic losses. Mixtures of gases.

**1. ДРОССЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Хорошо известно, что система для ожижения воздуха, разработанная К. Линде в 1895 г., была первой успешно технически реализованной коммерческой криогенной системой. Большинство современных криогенных установок были в дальнейшем разработаны и усовершенствованы на основе изобретения, сделанного К. Линде.

Работы К. Линде были, в частности, высоко оценены Д. Менделеевым и Н. Умовым в России. Московский университет в 1898 г. заказал ожижитель воздуха, сделанный К. Линде. Таким образом, первая криогенная лаборатория для учебных целей была организована в России.

Хотя цикл, разработанный К. Линде (рис. 1,а), был относительно прост и легко реализуем, он имел ряд недостатков, что вполне естественно для первого образца. Главным недостатком была низкая эффек-